



**HAL**  
open science

# DÉTECTION D'OBJETS DIFFRACTANTS À FAIBLE PROFONDEUR PAR MÉTHODES SISMIQUES : MODÉLISATION PHYSIQUE

Philippe Pernod, Bogdan Piwakowski, J. Tricot, B. Delannoy, J. Pierre

► **To cite this version:**

Philippe Pernod, Bogdan Piwakowski, J. Tricot, B. Delannoy, J. Pierre. DÉTECTION D'OBJETS DIFFRACTANTS À FAIBLE PROFONDEUR PAR MÉTHODES SISMIQUES : MODÉLISATION PHYSIQUE. Journal de Physique Colloques, 1990, 51 (C2), pp.C2-749-C2-752. 10.1051/jphyscol:19902174 . jpa-00230478

**HAL Id: jpa-00230478**

**<https://hal.science/jpa-00230478>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**DÉTECTION D'OBJETS DIFFRACTANTS À FAIBLE PROFONDEUR PAR MÉTHODES SISMIQUES :  
MODÉLISATION PHYSIQUE**

P. PERNOD, B. PIWAKOWSKI, J.C. TRICOT, B. DELANNOY et J.M. PIERRE

*Laboratoire de Physique des Vibrations et d'Acoustique de l'I.D.N.  
Rattaché au Laboratoire d'O.A.E. de Valenciennes, CNRS UA 832, I.D.N.,  
BP. 48, F-59651 Villeneuve d'Ascq Cedex, France*

**Résumé** - Un modèle physique destiné à l'étude des possibilités de détection sismique des objets diffractants des faibles profondeurs du sous-sol a été développé. Le modèle simule une situation extrêmement défavorable pour laquelle les méthodes sismiques classiques sont inopérantes pour la recherche de ces objets diffractants.

**Abstract** - A physical model designed to examine the detection possibilities of a diffracting subsurface object by seismic methods has been realised. The model simulates a very defavorable situation where classical methods are not suitable for the search of this diffracting object.

## 1 - INTRODUCTION

Parmi les problèmes de la sismique haute résolution, celui qui concerne la détection d'objets diffractants à faible profondeur (moins de 30m) ne semble pas avoir trouvé de solution satisfaisante. Le principal problème tient à ce que les réflexions ou diffractions de l'objet recherché (qui représentent le "signal") se trouvent noyées dans l'ensemble des autres événements générés par la structure environnante (ondes de surface, nombreuses réflexions multiples..., dénommées dans la suite "bruit cohérent", puisque corrélées au signal recherché) : le rapport signal sur bruit cohérent (SNR) est trop faible ( $SNR < -20$  dB) /1/.

Au niveau opératoire, il s'ensuit que les techniques de mesures et de traitements, utilisées couramment en sismique pour les profondeurs plus importantes ( $> 1000$  m, comme par exemple en prospection pétrolière), doivent être reconsidérées, voire modifiées. Or l'évaluation de l'efficacité et l'optimisation de ces techniques de mesures et de traitements sont particulièrement difficiles à déterminer sur site réel, ce dernier se révélant fort complexe et à structure figée.

Notre démarche a par conséquent consisté à établir par similitude un modèle physique (réduit au 15 millième), inspiré de la structure réelle où notre laboratoire effectue ses mesures, permettant dans un premier temps une simplification des conditions de détection. Ainsi, une première étude a été effectuée sur un modèle bicouche caoutchouc-plexiglass /2,3/, structure pour laquelle le nombre d'événements constituant le bruit cohérent est faible (peu de réflexion multiples dans la première couche en raison du faible coefficient de réflexion à l'interface (0,15) et de l'atténuation du caoutchouc naturel utilisé (0,57 dB/λ); quasi-inexistence des ondes de surface et des ondes transversales, en raison de la valeur du coefficient de Poisson proche de 0,5). Il a été montré dans ces conditions, qu'un choix approprié du système de mesure (positions relatives source, cavité, capteurs : voir Fig. 1a, 2a) permettait de dégager des fenêtres temporelles F /4/ entre les événements constituant le bruit cohérent, à l'intérieur desquelles la diffraction de l'objet est aisément décelable ( $SNR \geq 0$ ) (Fig. 1b et 2b).

Le présent travail s'attache en continuité de ce qui précède à la création et l'étude d'une situation où le SNR est négatif quel qu'il soit la géométrie du système de mesure. L'accent est mis sur les modifications apportées au modèle physique et l'interprétation des résultats expérimentaux effectués sur cette nouvelle structure. Sont ensuite présentés quelques essais de traitements destinés à l'extraction du signal relatif à l'objet diffractant considéré (cavité).

## 2 - MODELE PLEXIGLASS- PLEXIGLASS - RESULTATS

Grâce à la modulabilité de ses paramètres acoustiques, le modèle physique initial (caoutchouc-plexiglass) a pu être complexifié de manière à obtenir une augmentation importante du nombre et de l'amplitude des événements contribuant au bruit cohérent. Ceci s'est traduit concrètement par :

- le remplacement de la première couche par une plaque de plexiglass qui est un milieu moins atténuant que le caoutchouc (0,47 dB/λ) et qui autorise la présence d'ondes transversales (donc de modes convertis) et de surface (coefficient de Poisson  $\sigma = 0,28$ ).

- la réalisation de conditions de couplage contrôlables, à l'interface entre les deux couches: par modification du coefficient de réflexion (pour obtenir une valeur comprise entre 0,3 et 0,45), les amplitudes et le nombre des réflexions multiples ont été augmentés. Consécutivement, l'amplitude de la réflexion sur la cavité a été diminuée.

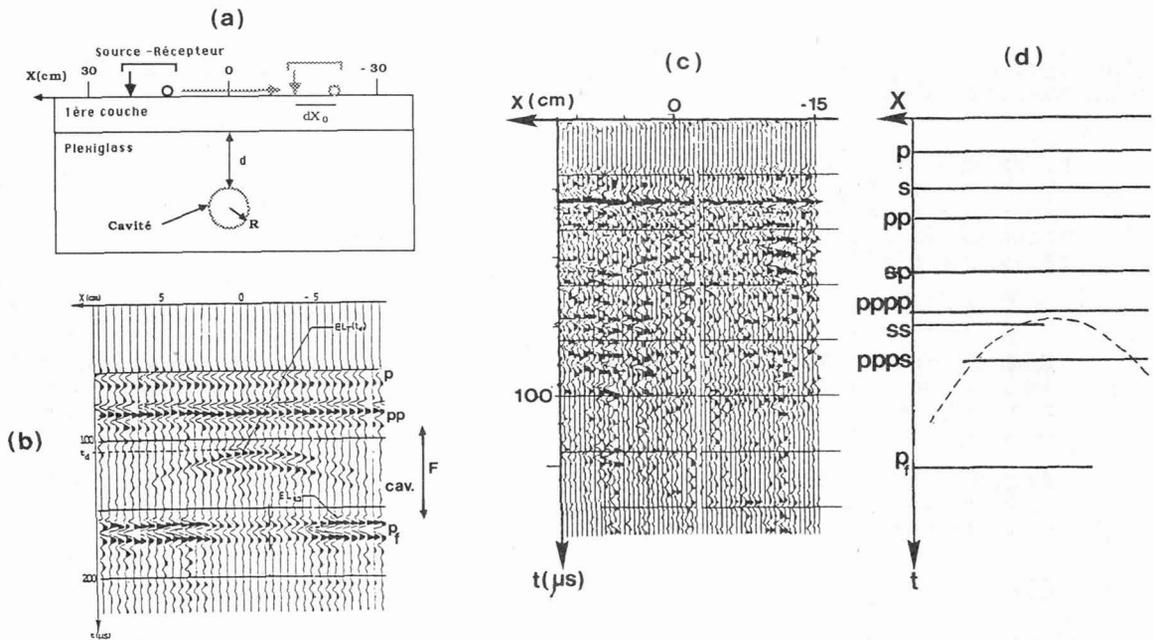


Fig. 1 - Résultats "common-offset"; (a) Représentation schématique de la géométrie du système de mesure,  $dx_0=3\text{cm}$ ; (b) Section obtenue sur le modèle caoutchouc-plexiglass; (c) Section obtenue sur le modèle plexiglass-plexiglass après filtrage passe-haut pour atténuer les ondes de surface; (d) Interprétation des observations relevées sur (c); F désigne la fenêtre temporelle.

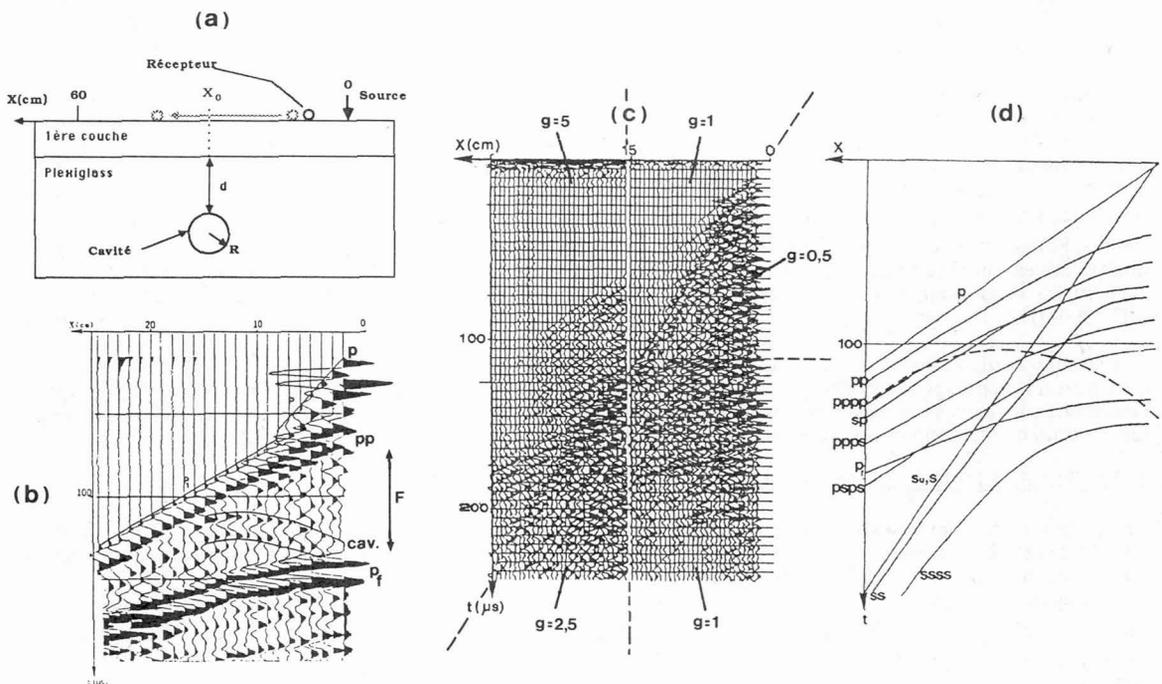


Fig. 2 - Même légende que celle de la Fig. 1 pour la géométrie "source-gather" du système de mesure,  $x_0=12\text{cm}$ ; La section (c), filtrée comme précédemment a subi des modifications de gain par secteurs (facteur de gain g).

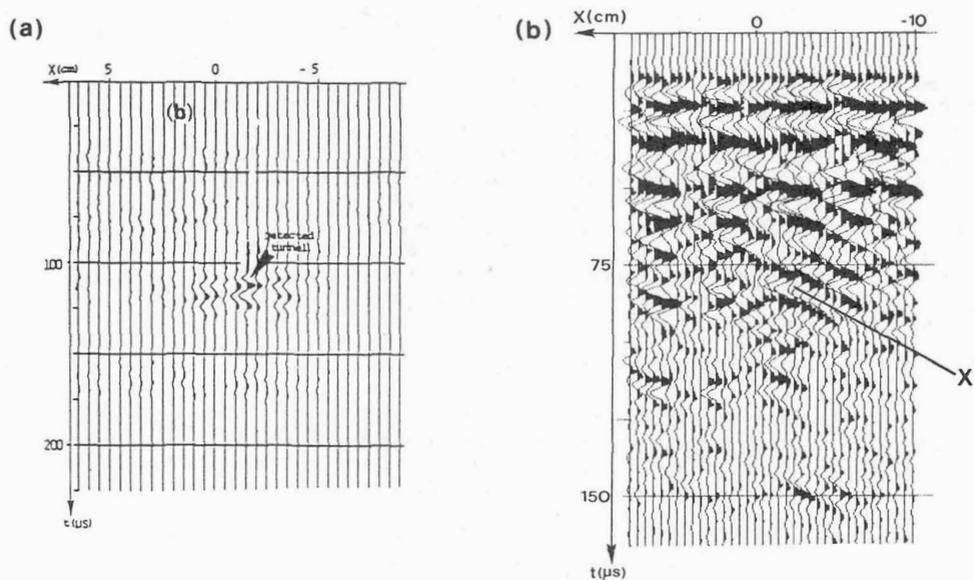


Fig. 3 - (a) Rappel du résultat de traitement "filtrage bidimensionnel + focalisation dynamique" appliqué sur la section Fig. 1b : la cavité est détectée; (b) Partie du traitement du (a) appliqué à la section Fig. 1c : le phénomène noté X semble pouvoir être interprété comme une manifestation de la présence de la cavité.

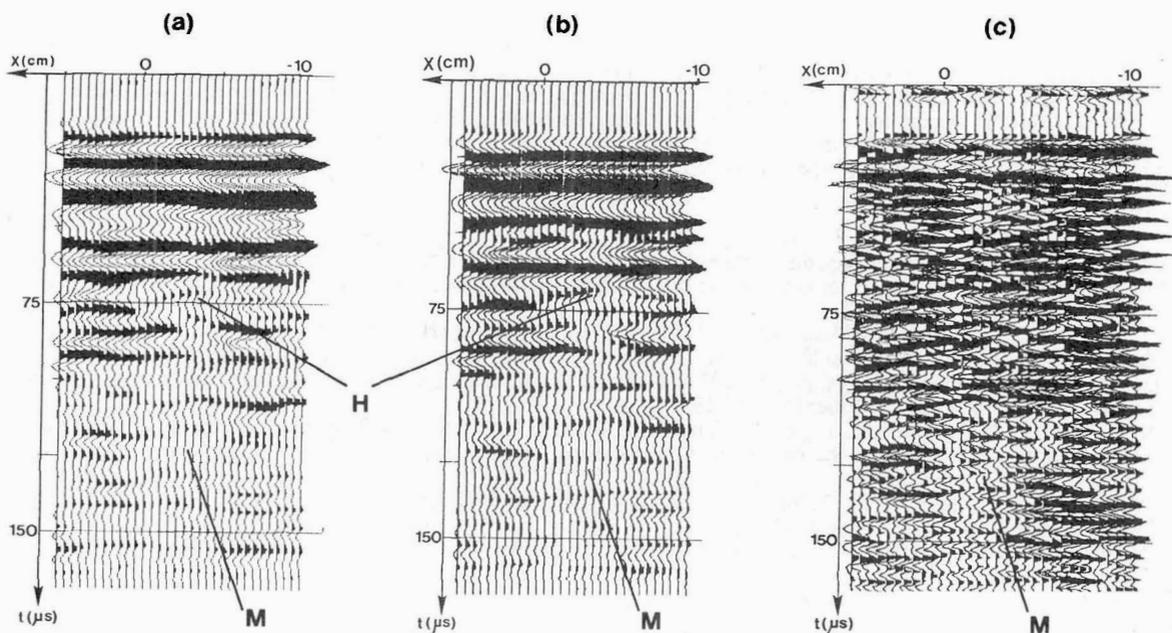


Fig. 4 - (a) Application du filtrage bidimensionnel seul à la section Fig. 1c : suppression des vitesses apparentes supérieures à 6000 m/s; (b) Résultats (a) représentés en polarité inverse; (c) Section (a) refiltrée plus haut en fréquence; H désigne une hyperbole bien corrélée à la réflexion sur la cavité; Le symbole M désigne l'effet de masquage.

Les résultats obtenus sur ce nouveau modèle (Fig. 1c et 2c), pour les deux géométries de système de mesure des Fig. 1a,b, 2a,b, ont été filtrés passe-haut de manière à éliminer partiellement les ondes de surface, qui rendaient difficile l'interprétation des sections en raison de leur prépondérance. L'action de ce filtre s'est cependant effectuée sans altération des autres événements de spectre plus élevé. La section "source-gather" (Fig. 2c) a fait l'objet de corrections additionnelles de gain (g), définies par zones, pour compenser l'atténuation.

Au regard de ces Figures, les principaux événements caractéristiques d'une structure bicouche peuvent être reconnus. Une partie d'entre eux particulièrement bien visibles, a été reportée Fig. 1d, 2d. Hormis les ondes directes longitudinales (P), transversales (S) et de surface (Su), on y distingue également les réflexions multiples dans la première couche (PP, PPPP, ...), ainsi que certaines converties (PS ou SP, PPPS ou équivalentes, ...). Ainsi, la richesse du bruit cohérent, qui dépasse de loin l'énumération précédente, est ici bien mise en évidence et peut être comparée à celle de la situation caoutchouc-plexiglass (Fig. 1b, 2b), où seules les arrivées directes P, la réfraction, la réflexion simple PP dans la première couche, et la réflexion sur le fond du modèle Pf sont visibles. Par contre, aucune manifestation claire de la présence de la cavité (qui devrait apparaître sous la forme de l'hyperbole H mentionnée en pointillés) ne peut être décelée: nous sommes dans une situation où le paramètre SNR est négatif.

### 3 - TRAITEMENT DE LA SECTION COMMON-OFFSET

L'extraction du signal relatif à la cavité ne peut être effectuée qu'à l'aide d'un traitement spécifique, les traitements classiques étant inopérants. La solution que nous avons proposée dans l'étude du modèle caoutchouc-plexiglass /2,3/, qui avait été appliquée à la section common-offset Fig. 1b (résultat rappelé Fig. 3a), a été testée sur la section de la Fig. 1c (résultats présentés Fig. 3b). Le principe du traitement, fondé sur l'association des techniques de filtrage bidimensionnel /5/ et de focalisation dynamique /6/, est d'utiliser les caractéristiques géométriques marginales de la réflexion pour améliorer le rapport SNR. Ceci est bien visible Fig. 3a, où la position de la cavité a été correctement retrouvée et le bruit cohérent bien atténué. La Fig. 3b montre le résultat obtenu lorsque une partie du traitement précédent est appliqué à la section Fig. 1c. Le phénomène noté X s'apparente bien à une manifestation de la présence de la cavité.

L'utilisation du filtrage bidimensionnel seul, moyennant des choix différents des paramètres, nous a également permis la mise en évidence de phénomènes bien corrélés à la présence de la cavité. Ainsi, peut-on voir ressortir sur les Figures 4a et 4b (filtrage 2D supprimant les événements de vitesse apparente supérieure à 6000 m/s), une hyperbole bien symétrique qui coïncide, sur sa portion visible, avec la courbe théorique de réflexion sur la cavité (mieux visible Fig. 4a), ou encore, la gêne occasionnée par cette réflexion sur les événements voisins (interférences mieux visibles Fig. 4b). Dans les deux cas, il est également possible de repérer sous la position de cette hyperbole, l'effet de "masquage" dû à la présence de la cavité, qui se traduit par des discontinuités et perturbations dans les temps d'arrivée des événements provenant des structures situées sous la cavité (ce phénomène est encore mieux visible sur la Fig. 4c). Cette remarque vient renforcer l'intérêt de l'utilisation d'une méthode indirecte pour la détection des cavités.

### CONCLUSION

Le modèle physique que nous avons développé permet bien de simuler une situation complexe de détection d'objets diffractants par méthodes sismiques pour laquelle le rapport signal sur bruit cohérent est extrêmement défavorable. En effet, ce modèle, dont l'usage peut profiter à un grand nombre d'autres domaines de l'acoustique, présente toutes les caractéristiques sismiques d'une structure bicouche, et permet comme cela l'a été montré sur un exemple dans cet article, la recherche et le test de techniques de mesure et de traitement spécifiques à la détection d'objets diffractants.

### BIBLIOGRAPHIE

- /1/ Piwakowski, B., en préparation, thèse d'habilitation à diriger les recherches, "Contribution à la théorie de la réponse impulsionnelle de diffraction. Exemple d'application: détection sismique de cavités souterraines" Université de Valenciennes (1989).
- /2/ Pernod, P., Piwakowski, B., Delannoy, B., Tricot, J.C., "Detection of shallow underground cavities by seismic methods: physical modelling approach", 17th Int. Symp. on Acoust. Imaging Sendai (Japan) (1988).
- /3/ Pernod, P., "Modélisation physique des profils sismiques de subsurface: application à la détection de cavités", thèse de doctorat de l'Université de Valenciennes (1989).
- /4/ Hunter, J.A., Pullan, S.E., Burns, R.A., Gagne, R.M., Good, R.L., "Shallow seismic reflexion mapping of the overburden bedrock interface with the engineering seismograph - Some simple techniques", *Geophysics* **40** 8 (1984) 1381
- /5/ Piwakowski, B., Tricot, J.C., Delannoy, B., Pernod, P., "Spatial filtering in shallow seismic prospecting", 16th int. Symp. on Acoust. Imaging Chicago (1987).
- /6/ Yilmaz, O., "Seismic data processing", published by Soc. of Exploration Geophysicists, P.O.Box 702740 Tulsa OK 74170 - 2740